

## КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ЛИЧНА БАЛИСТИЧКА ЗАШТИТА- ДИЗАЈН И ПЕРФОРМАНСИ

Димко Димески<sup>1</sup>, Дијана Спасеска<sup>2</sup>, Зоре Ангелевски<sup>3</sup>

<sup>1</sup>“Еурокомполит” Александар Македонски 2/42, МК-4800 Прилеп, Република  
Македонија, [ddime@yahoo.com](mailto:ddime@yahoo.com); Мобилен: 070 918 647

<sup>2</sup>Технолошко-металуршки факултет, Универзитет “Св.Кирил и Методиј” Руѓер  
Бошковиќ 16, МК-1000 Скопје, Република Македонија,  
[dijana@ereb1.mf.ukim.edu.mk](mailto:dijana@ereb1.mf.ukim.edu.mk); Мобилен: 075 532 587

<sup>3</sup>Технички факултет, Универзитет “Св.Климент Охридски”  
Иво Лола Рибар бб, МК-4700 Битола, Република Македонија  
[zoreangelevski@uklo.edu.mk](mailto:zoreangelevski@uklo.edu.mk); Мобилен: 070 881 441

**Апстракт:** Направено е споредбено истражување на балистичките перформанси на современите влакна/смола композиции наменети за лична балистичка заштита. Истражувањата покажаа дека постои голема меѓусебна разлика во балистичките перформанси кај еднонасочните и двонасочните композиции. Композициите врз база на HPPE (high performance polyethylene) влакна покажаа најголема балистичка јакост, па следеа оние врз база на арамидни, полиамидни и стаклени влакна. Еднонасочните композиции покажаа поголема балистичка јакост и помал трауматолошки ефект од соодветните двонасочни композиции.

**Клучни зборови:** композиции, влакна, балистички, трауматолошки ефект

### ВОВЕД

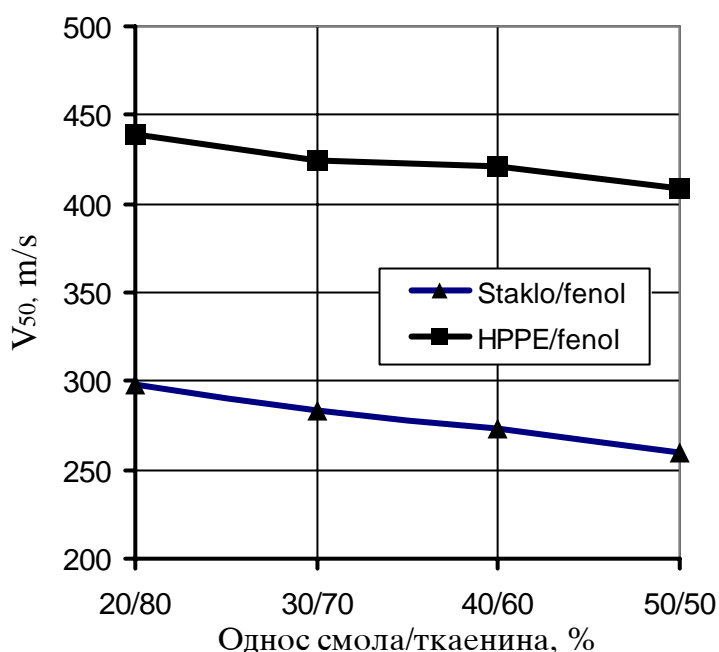
Композитите ојачани со влакна заради своите извонредни перформанси и малата маса се доминантни материјали во изработката на опрема за лична балистичка заштита. Традиционалните материјали за оваа намена челикот и керамиката скоро истиснати од оваа намена. Во развиените земји, САД, Израел, Франција и др. главно се користи зајакната пластика врз база на арамидни и HPPE (високоперформансни полиетиленски) влакна и тоа како двонасочни и еднонасочни композитни слоеви главно со термопластични матрици. Истражувањата кои се овде презентирани се извршени врз композитни ламинати со термореактивна матрица, добиени со директно пресување на слоеви од препрег. За истражување користевме двонасочни препреги врз база на стаклена, полиамидна, арамидна и ткаенина врз база на HPPE влакна како зајакнувачи и фенол-формалдехидна смола како матрица, како и еднонасочни препреги врз база на HPPE влакна и термопластична матрица. Извршено е компаративно испитување на балистичката јакост  $V_{50}$  (според НАТО стандардот Stanag 2920) и на трауматолошкиот ефект (според американскиот полициски стандард NIJ 0101.03) на композитите со цел да се определи најсоодветниот композит за дадено барање.

### ВЛИЈАНИЕ НА ОДНОСОТ ВЛАКНА /МАТРИЦА ВРЗ БАЛИСТИЧКАТА ЈАКОСТ НА КОМПОЗИТИТЕ

По дефиниција, за композити се сметаат материјалите коишто се состојат од две или повеќе хемиски различни фази забележливи на макро скала, со видливи меѓуповршини кои ги раздвојуваат фазите [x]. Оваа дефиниција, во полна мерка, се однесува на

пластиците зајакнати со влакна, кои сигурно претставуваат најголема и најзначајна група на современи композитни материјали. Тие, главно, се состојат од два конституента или фази- зајакнувачка фаза или влакна и врзивна фаза или матрица. Улогата на матрицата во композитот е да врши трансфер на оптоварувањето меѓу влакната, да ги држи влакната во определена ориентација и да ги штити од механички оштетувања и од оштетувања предизвикани од околината. Оваа улога, главно, ја вршат термореактивни или термопластични полимери. Улогата на влакната е да му дадат јакост и крутост на композитот и повторно кај современите композитни материјали таа улога ја имаат полимерите. Всушност, познато е дека материјалите во влакнеста форма поседуваат највисоки механички карактеристики. Особено тоа е карактеристично за полимерите, а причина за тоа е ориентираноста на молекулите долж оската на влакното. Нивните карактеристики можат да се споредуваат со теоретски пресметаните вредности врз база на маѓуатомските сили[1].

За да определиме како влијае односот на конституентите врз балистичката јакост на композитите припремивме композити врз база на стаклени и HPPE ткаенини со однос на конституентите ткаенина/смола: 20/80, 30/70, 40/60 и 50/50. Резултатите од испитувањата се презентирани на сликата 1.



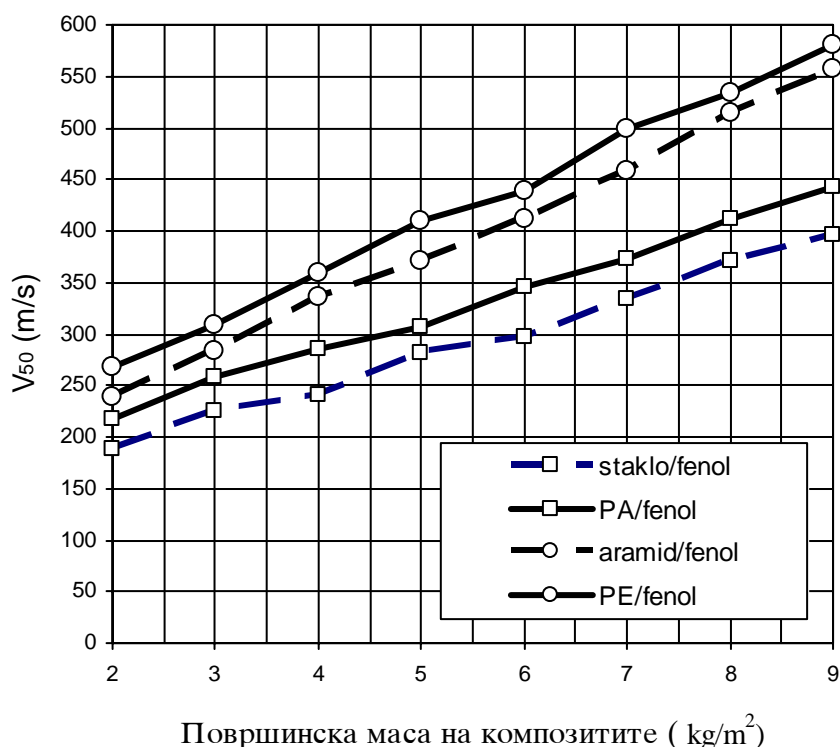
**Сл.1. Балистичката отпорност во зависност од односот на конституентите кај композитите**

Резултатите од испитувањето покажаа дека односот на конституентите кај композитите има извонредно големо значење врз нивните особини. Со зголемувањето на содржината на матрицата, односно со намалувањето на содржината на влакната, пропорционално се намалува балистичката јакост на композитите. Тоа наведува на заклучок дека влакната имаат доминантна улога во детерминирањето на балистичката отпорност на композитите.

## **ВЛИЈАНИЕ НА ПОВРШИНСКАТА МАСА ВРЗ БАЛИСТИЧКАТА ЈАКОСТ НА КОМПОЗИТИТЕ**

За ова испитување изработени се композити врз база на стаклена, полиамидна, арамидна и HPPE ткаенини. Изработени се композити со површинска маса 2,3,4,5,6,7,8 и 9 kg/m<sup>2</sup> и извршено е испитување на балистичката јакост V<sub>50</sub>. Земени се овие површински

маси затоа што тие имаат смисла за лична балистичка заштита. Помала маса од  $2 \text{ kg/m}^2$  не би овозможила соодветна заштита, додека поголемата од  $9 \text{ kg/m}^2$  би била несоодветна заради заморот и тромоста што би ги предизвикала кај носителот заради преголемата тежина. Резултатите од испитувањето се претставени на сликата 2.



**Сл.2.  $V_{50}$  во зависност од површинската маса на композитите при однос на конститuentите смола/влакна 20/80**

Од сликата 2 јасно се забележува големата разлика во балистичката јакост меѓу композитите при еднаква површинска маса, што, секако, се должи на разликата во особините на употребените ткаенини, односно влакна. Со оглед на тоа дека композитите се изработени при еднакви услови, јасно е дека типот на влакната има доминантно влијание врз балистичките перформанси. Најлоши балситички карактеристики покажаа композитите врз база на стаклените влакна, додека најдобри-композитите врз база на НРРЕ влакна. Арамидните композити имаат незначително полоши карактеристики од полиетиленските, додека полиамидните композити имаат подобри карактеристики од стаклените но полоши од арамидните и се на третото место по своите балистички перформанси од четирите типа композити. Исто така може да се забележи дека во испитуванот опсег на површински маси, слика 2,  $V_{50}$  се зголемува право пропорционално со зголемувањето на површинската маса.

## **ВЛИЈАНИЕ НА ПРИТИСОКОТ НА ПРЕСУВАЊЕ ВРЗ БАЛИСТИЧКАТА ЈАКОСТ НА КОМПОЗИТИТЕ**

Познато е дека особините на композитите, покрај од особините на конститuentите, нивниот удел, ориентираноста на влакната итн., зависат и од технолошките параметри на преработка. Технолошките параметри при производството на ламинатните композити со директно пресување се: температурата, времето и притисокот на пресување. Времето и температурата на пресување се детерминирани од конститuentите, најчесто од матрицата. Со регулација на тие два параметра, треба да и се соопшти на смолата доволно енергија за да премине од Б - состојба во која што е во

препрегот, во Ц - состојба на целосна вмреженост, во каква што е во композитот. Во таа состојба смолата може да помине ако е загреана на дадена температура за одредено време. При повисока температура, тоа може да се постигне за пократко време и обратно. Тоа значи дека овие два параметра не се независни еден од друг, туку напротив, делуваат во спрега. Всушност, температурата на вмрежување на смолата може да биде и амбиентната, но во тој случај, времето би било апсолутно неприфатливо долго за индустриско производство[2].

Друг референтен показател, покрај хемизмот на смолата при одредување на температурата на пресување, е точката на топење на влакната која во никој случај не смее да се достигне или надмине за да не се наруши ориентираноста на молекулите во влакната. Типичен пример за ова се HPPE влакната кои се топат на 134°C, што беше детерминирачки фактор при одредувањето на температурата на пресување на ламинатите врз база на HPPE влакната.

Кај третиот технолошки параметар - притисокот, нема такви ограничувања од страна на конституентите. Притисокот на пресување може да се менува во широк дијапазон, према техничките можности на опремата, како и да се проучува неговото влијание врз особините на композитите.

За персонална балистичка заштита, еден ист тип на влакна може да се користи во вид на различни текстилни преработки-ткаенина, филц или еднонасочна лента. Така на пример HPPE влакната на пазарот можат да се најдат како еднонасочни ленти (Dyneema UD HB, Spectra Shield), како филц (Dyneema Fraglight) и како ткаенини. Филцот се користи во доста ограничени количини, пред сè за изработка на елеци за заштита од фрагменти, додека ткаенините и еднонасочните ленти се доминантни текстилни форми за балистичка заштита [1].

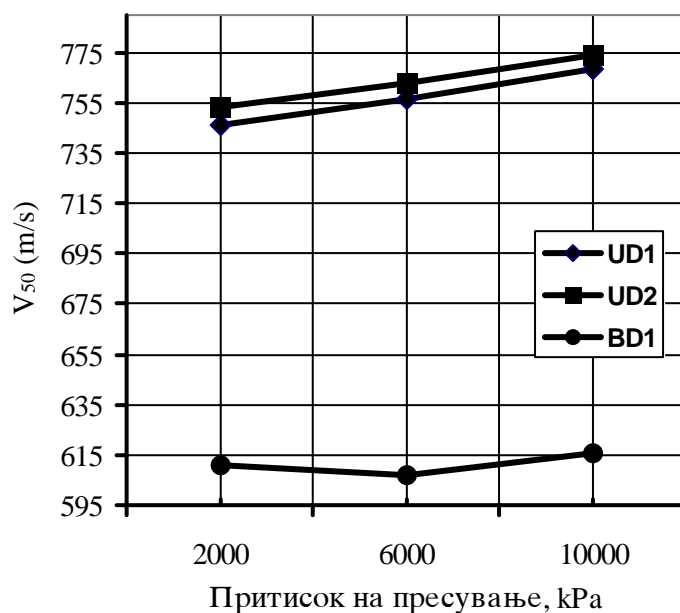
За истражување земени се два типа еднонасочни композити UD1 и UD2 како и еден тип на двонасочен композит BD1, сите врз база на HPPE влакна со ултра висока молекулска маса (UHMWPE).

Основните технички податоци на препрезите се дадени во табелата 1. Материјалите UD1 и UD2 се градени од 4 и 2 еднонасочни слоеви, соодветно, меѓусебно положени под 0°/90°.

**Табела 1. Карактеристики на препрезите**

Особина	Единица	UD1	UD2	BD1
Површинска маса	kg/m <sup>2</sup>	127-134	254-268	375±8
Содржина на смола	mas. %	16-22	17-24	20 ±2
Број на слоеви	-	2	4	-
Вид на ткаенина	-	-	-	1x1 (платно)

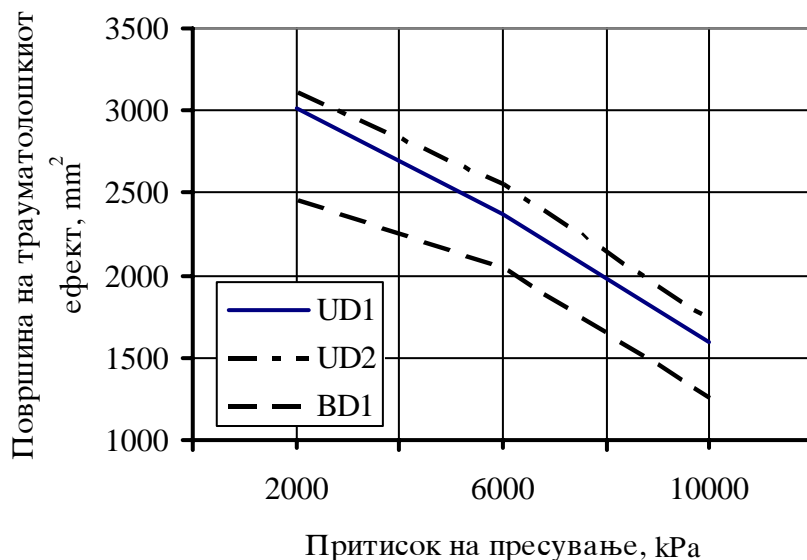
Од овие материјали направени се композити со површинска маса од 20 kg/m<sup>2</sup> при притисок на пресување од 2000, 6000 и 10000 kPa и испитана е нивната балистичката карактеристика V<sub>50</sub> со муниција 7.62 x 39 mm, чија маса е 8±1 g. Резултатите од испитувањето се дадени на сликата 3, од која јасно може да се забележи големата разлика во балистичките јакоост меѓу еднонасочните композити од една страна и двонасочниот композит. Имено, при иста површинска маса еднонасочните композити имаат за околу 25% поголема балистичка јакоост од двонасочниот композит. Исто така, со зголемувањето на притисокот на пресување се зголемува балистичката јакоост кај еднонасочните композити додека кај двонасочниот композит не може да се забележи закономерна промена, слика 3.



Сл.3. Балистичка јакост на композитите со површинска маса од 20 kg/m<sup>2</sup>

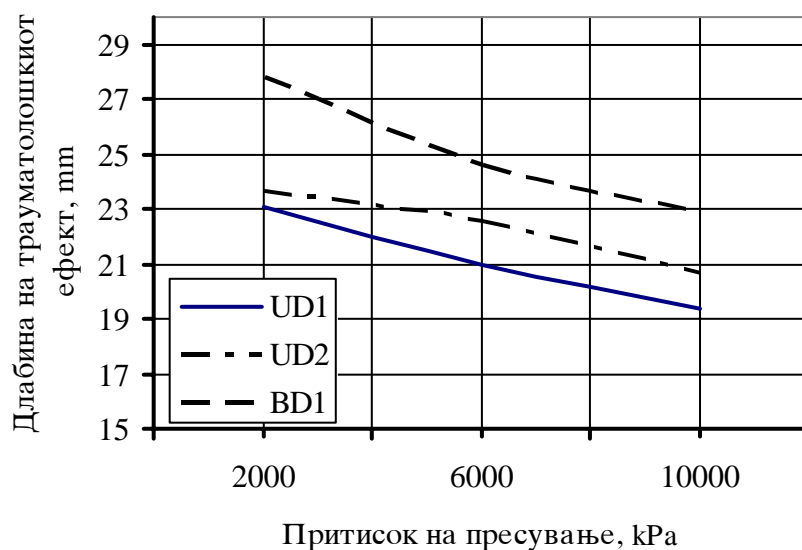
### ВЛИЈАНИЕ НА ПРИТИСОКОТ НА ПРЕСУВАЊЕ ВРЗ ТРАУМАТОЛОШКИОТ ЕФЕКТ КАЈ КОМПОЗИТИТЕ

Испитувањето на трауматолошкиот ефект кај композитите покажа дека со зголемувањето на притисокот на пресување се намалува длабината и површината на трауматолошкиот ефект кај сите композити, слики 4 и 5. Карактеристично е тоа што најмала површина и најголема длабина покажа двонасочниот композит.

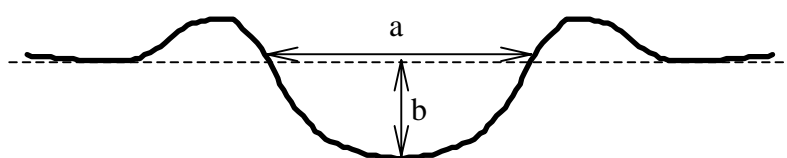


Сл.4. Површина на трауматолошкиот ефект

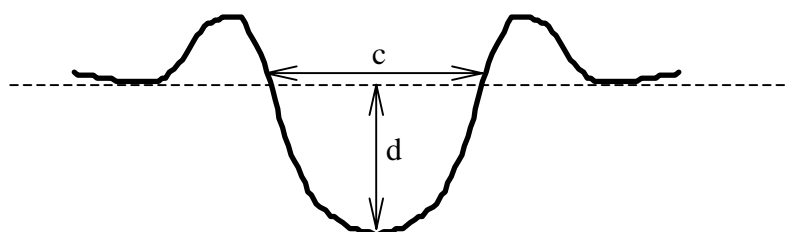
Големата длабина на трауматолошкиот ефект не е посакувана карактеристика, затоа што може да предизвика несакани последици, дури и трагични, кај носителот на балистичката заштитна опрема. Од графичката претстава на трауматолошкиот ефект, слики 6 и 7, може да се заклучи дека  $a > c$  и  $b < d$ . Според стандардот NIJ 0101.03 длабината не смее да премине 44 mm (1.73 in), па затоа тој ефект што го манифестираат двонасочните композити е помалку посакуван [3].



Сл. 5. Длабина на трауматолошкиот ефект



Сл.6. Трауматолошки ефект кај еднонасочните композити



Сл.7. Трауматолошки ефект кај двонасочните композити

**Abstract:** Comparison test is performed on the ballistic performance of the advanced fiber/resin composites for personal ballistic protection. The test results have shown that there is a big difference in ballistic performance between unidirectional and bidirectional composites. HPPE (high performance polyethylene) based composites have shown the best ballistic strength, followed by aramide, polyamide and glass based composites. The unidirectional composites have performed much better characteristics compared to those of the bidirectional composites in terms of their ballistic strength (approx. 25% higher ballistic strength) as well as the blunt trauma effect.

**Key words:** composite, fiber, ballistic, trauma effect

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]Д.Димески: Композитни материјали за лична балистичка заштита-дизајн и перформанси (докторска дисертација); Универзитет "Св.Кирил И Методиј", Технолошко-Металуршки факултет, Скопје, 2004
- [2]H.Harel, G.Marom: Delamination controlled ballistic resistance of polyethylene/polyethylene composite materials; *Applied Composite Materials* 9: 33-42, 2002
- [3]S.Ratner, A.Weinberg, G.Marom: Morphology and mechanical properties of crosslinked PE/PE composite materials; *Polymer Composites*, June 2003, Vol.24, No.3